REPORTE SEMESTRAL DE GEOTECNIA – ESIA CAT III

Diciembre 2021 – abril 2022

Departamento de geotecnia de mina
Servicios técnicos de mina

TABLA DE CONTENIDOS

Perforaciones geotécnicas y pruebas de resistencia 3
Programa de perforación geotécnica 2022 – paredes sur y este del tajo Botija 4
Pruebas geotécnicas – resistencia de roca 5
Reporte de monitoreo y condiciones de talud **6**
Reporte de monitoreo – pared sur y sureste, tajo botija 7
Análisis de estabilidad de taludes 10
Resumen de análisis de estabilidad global – pared sureste, tajo Botija 11
Inestabilidad en desarrollo – departamento de geotecnia de mina 14

Cobre Panamá

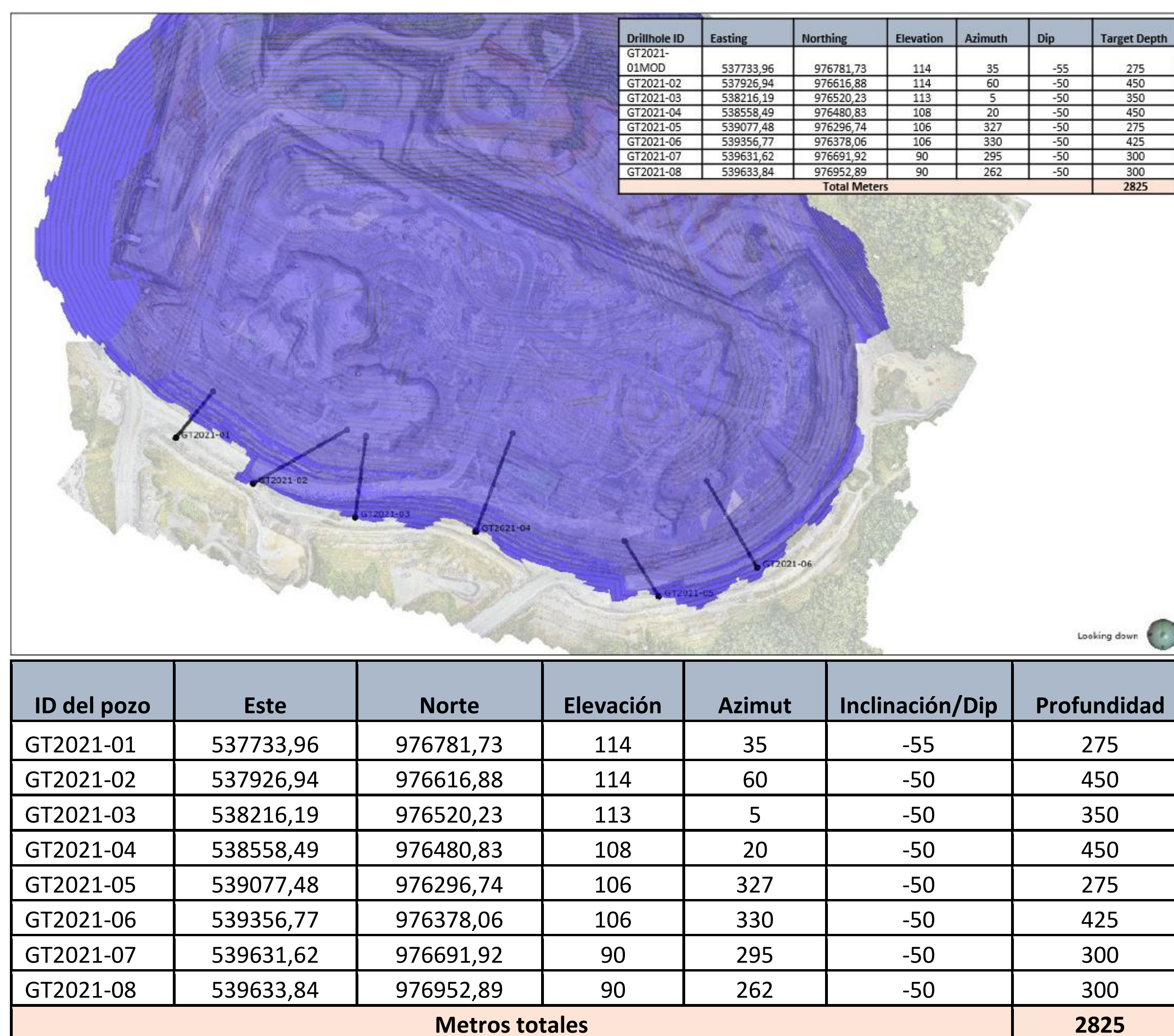
FIRST QUANTUM
MINERALS LTD.

Perforaciones geotécnicas y pruebas de resistencia

PROGRAMA DE PERFORACIÓN GEOTÉCNICA 2022 – PAREDES SUR Y ESTE DEL TAJO BOTIJA

El 20 de febrero de 2022 se dio inicio a la campaña de perforación geotécnica en el perímetro sur y este en el tajo Botija. El programa consiste de 2825 metros lineales, distribuidos en ocho pozos de diamantina con dos propósitos distintivos: comprobación de la profundidad de zona de daño causado por voladura, y por ende las condiciones de la roca post-excavación, y refinar el extento las fallas geológicas del modelo de estructuras del 2020-2021.

El programa fue presentado a los grupos de Servicios Técnicos y Operaciones de mina durante la reunión de planificación de la semana 6, con un estimado de las fechas de inicio de cada pozo.



ID del pozo	Este	Norte	Elevación	Azimut	Inclinación/Dip	Profundidad
GT2021-01	537733,96	976781,73	114	35	-55	275
GT2021-02	537926,94	976616,88	114	60	-50	450
GT2021-03	538216,19	976520,23	113	5	-50	350
GT2021-04	538558,49	976480,83	108	20	-50	450
GT2021-05	539077,48	976296,74	106	327	-50	275
GT2021-06	539356,77	976378,06	106	330	-50	425
GT2021-07	539631,62	976691,92	90	295	-50	300
GT2021-08	539633,84	976952,89	90	262	-50	300
Metros totales						**2825**

Figura 1. Vista de planta de la proyección de los pozos geotécnicos en la pared sur. En la tabla se muestra la lista de pozos con sus orientaciones respectivas.



Figura 2. Panorámica y programación de la campaña geotécnica.

A la fecha van 1776 metros perforados y el pozo en curso es el GT2021-06. Todos los pozos son procesados en la siguiente secuencia: verificación de la línea de orientación, logueo geomecánico, fotografía del pozo, y finalmente, ensayo de carga puntual.

PRUEBAS GEOTÉCNICAS – RESISTENCIA DE ROCA

Las pruebas geotécnicas que se llevan a cabo en el departamento de geotecnia de mina consisten en ensayos de carga puntual, comúnmente abreviado PLT por sus siglas en inglés.

Durante el último semestre, se hicieron 5 ensayos en muestras de bloque perforadas en el laboratorio. Los ensayos en pozos de diamantina fueron 218 entre los últimos pozos de la fase 2 de exploración del tajo Colina, y el primer pozo de la campaña geotécnica anteriormente descrita.

Cobre Panamá

FIRST QUANTUM
MINERALS LTD.

Reporte de monitoreo y condiciones de talud

REPORTE DE MONITOREO – PARED SUR Y SURESTE, TAJO BOTIJA

30 de diciembre de 2021

CONDICIÓN ACTUAL

- Se ha detectado un incremento exponencial en el desplazamiento acumulado en las paredes sur y sureste durante los últimos cuatro días. Este desplazamiento está concentrado en cinco puntos a los que se han denominado áreas 1 al 5, respectivamente, donde el área 1 es el área más al oeste y las siguientes están enumeradas en orden hacia el este.

- El departamento de geotecnia procede inmediatamente a confirmar la condición en terreno mediante una inspección con dron.

- En esta inspección se confirma que hay cuñas rotas que requieren remediación previa al desarrollo del talud al nivel 30. Todas las cuñas abarcan al menos dos taludes de altura.

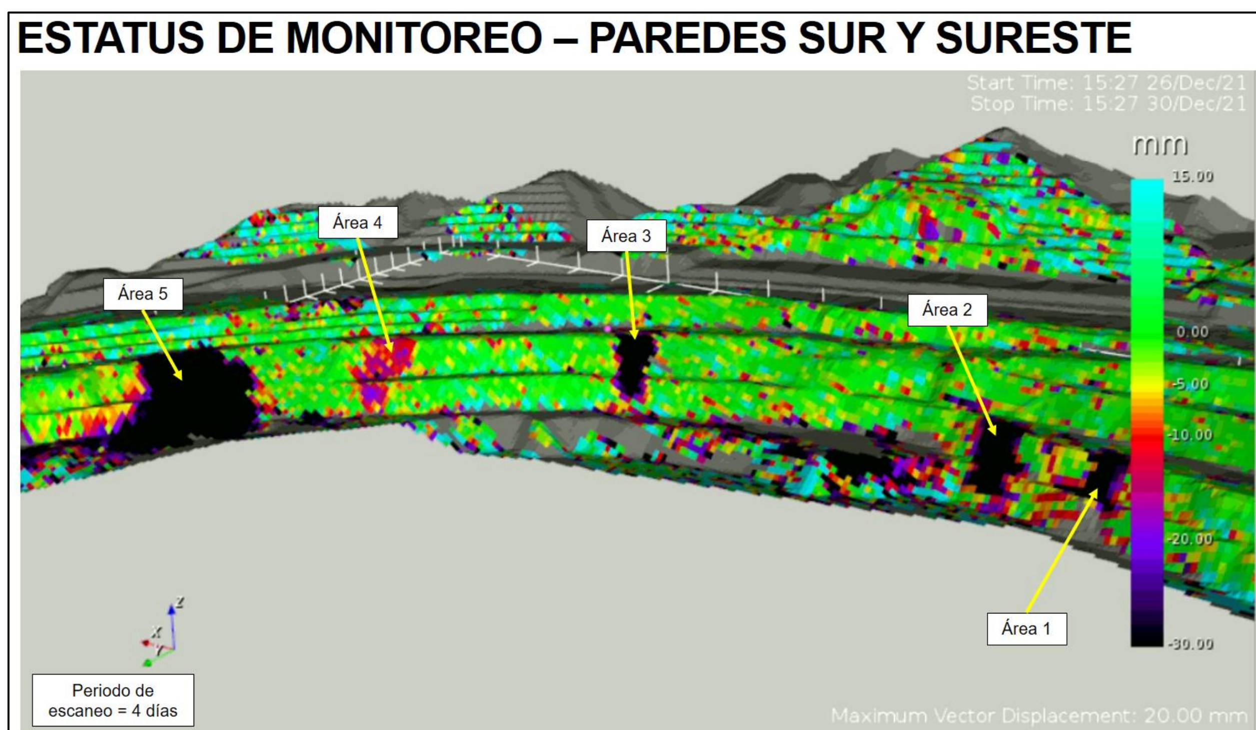


Figura 3. Vista panorámica de datos del radar donde se muestran cinco inestabilidades en desarrollo en las paredes sur y sureste.



Figura 4. Condiciones de terreno de áreas 1 y 2.

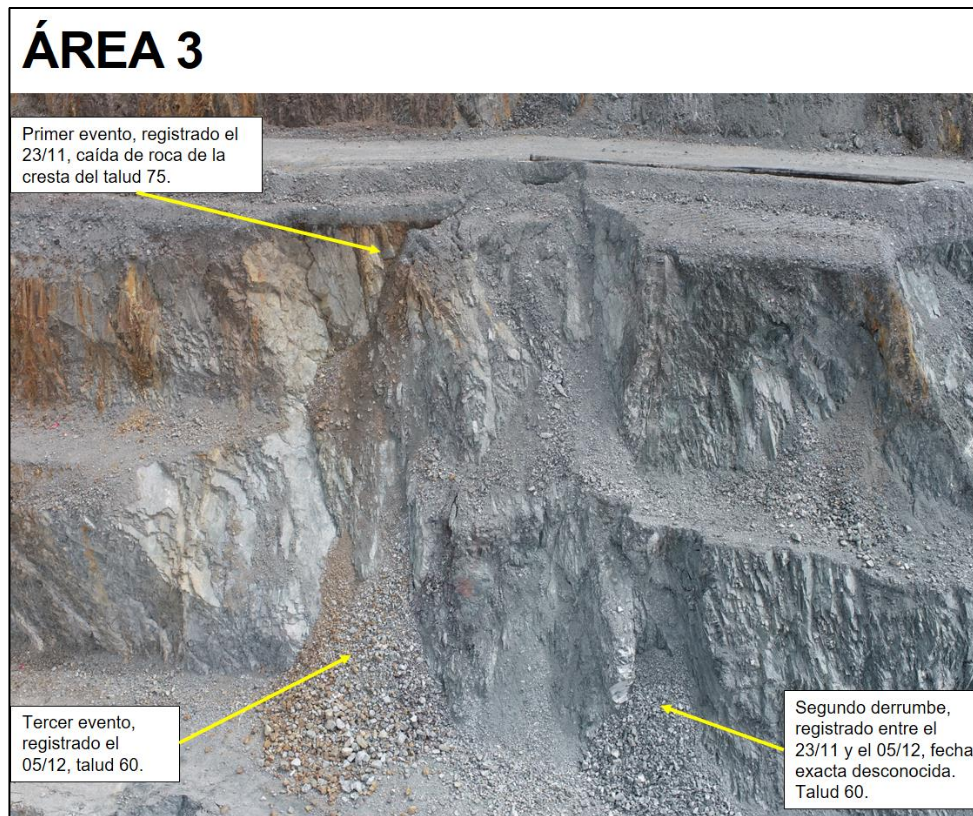


Figura 5. Condición de terreno del área 3. Eventos de caída de roca registrados previamente en el área 3.

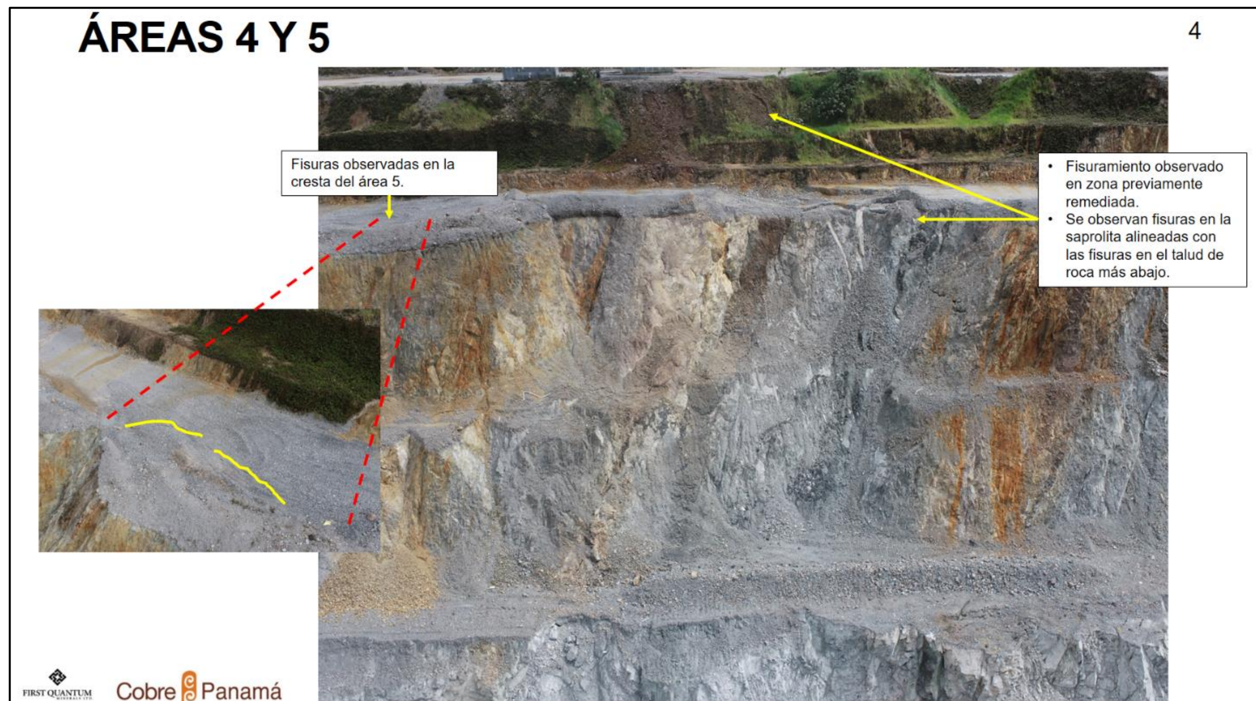


Figura 6. Condiciones de terreno en áreas 4 y 5. Fisuras observadas en la cresta de ambas áreas.

Cobre Panamá

FIRST QUANTUM
MINERALS LTD.

Análisis de estabilidad de taludes

RESUMEN DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL – PARED SURESTE, TAJO BOTIJA

Febrero 2022

CONDICIÓN ACTUAL

- Las paredes este y suroeste del tajo Botija han presentado una serie de derrumbes y movimientos de talud detectados por el georadar, a escala de uno y de dos taludes de altura (cada talud mide 15 metros de altura en estos sectores).

- Dichas inestabilidades se desarrollaron debido a una combinación de factores como lo son estructuras geológicas con orientación adversa respecto al talud, daño producido por voladura, y eventos de lluvia.

- Se lleva a cabo un análisis para evaluar la estabilidad global en el diseño final del tajo en dos dimensiones utilizando método de equilibrio límite de taludes y pendientes del programa Slide2 de Rocscience.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el análisis en Slide2 para comprender la extensión de una posible falla de talud que empiece desde la cresta, y sus principales mecanismos de rotura.

- Como parte del proceso de modelamiento, se han ensayado varios escenarios con las mejores propiedades de la roca disponibles al momento del análisis.

- Los resultados indican que los límites de falla están determinados por las discontinuidades inherentes en la escala entre rampa (conjunto de taludes entre rampas o bermas geotécnicas). Las superficies de rotura con factor de seguridad menor a 1 se asemejan a las condiciones observadas en campo, indicando que la resistencia cortante de las discontinuidades no puede soportar la carga del talud en la geometría actual.

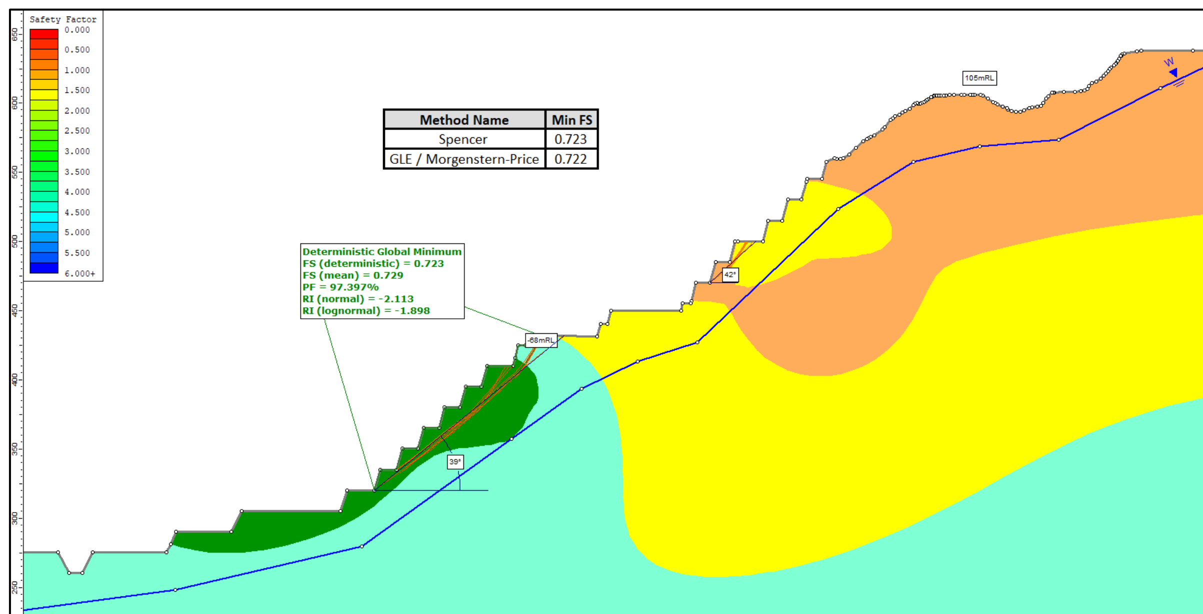
- Se modifica el diseño del talud global para minimizar potenciales inestabilidades, implementando una berma geotécnica de 25 metros de ancho al nivel 45, y relajando el ángulo entre rampas (IRA, por sus siglas en inglés) de 46 grados a 42 grados.

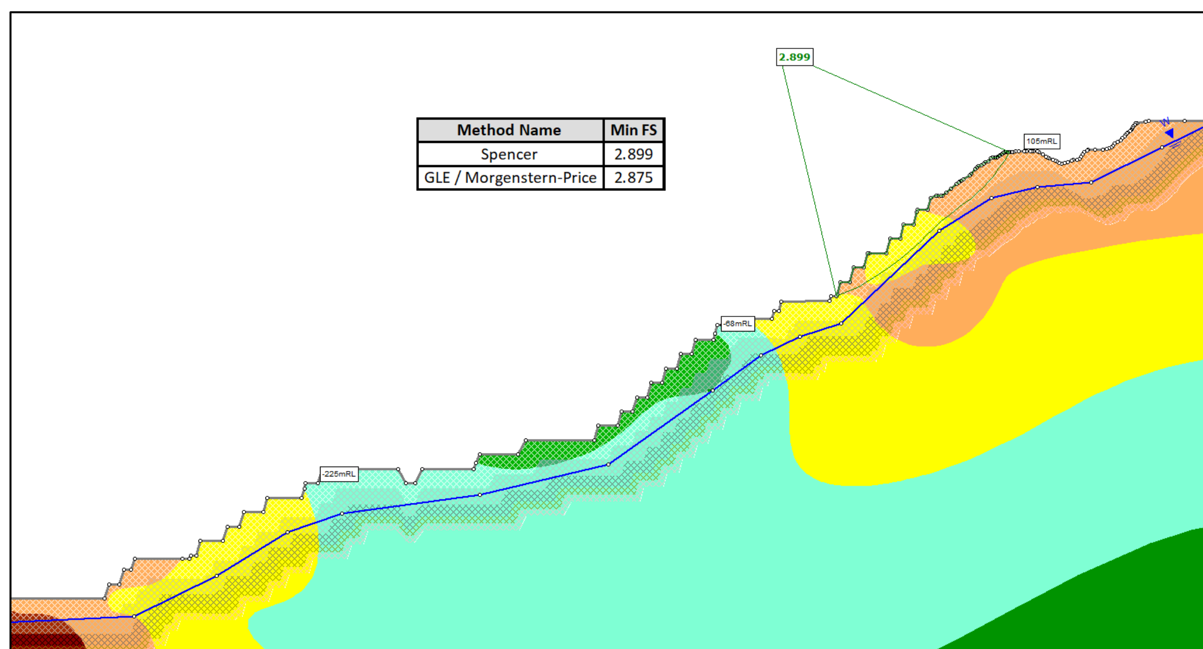
- Se necesita continuar con las investigaciones y análisis más exhaustivos para incrementar la confiabilidad en los valores estimados de resistencia al corte de las discontinuidades, así como

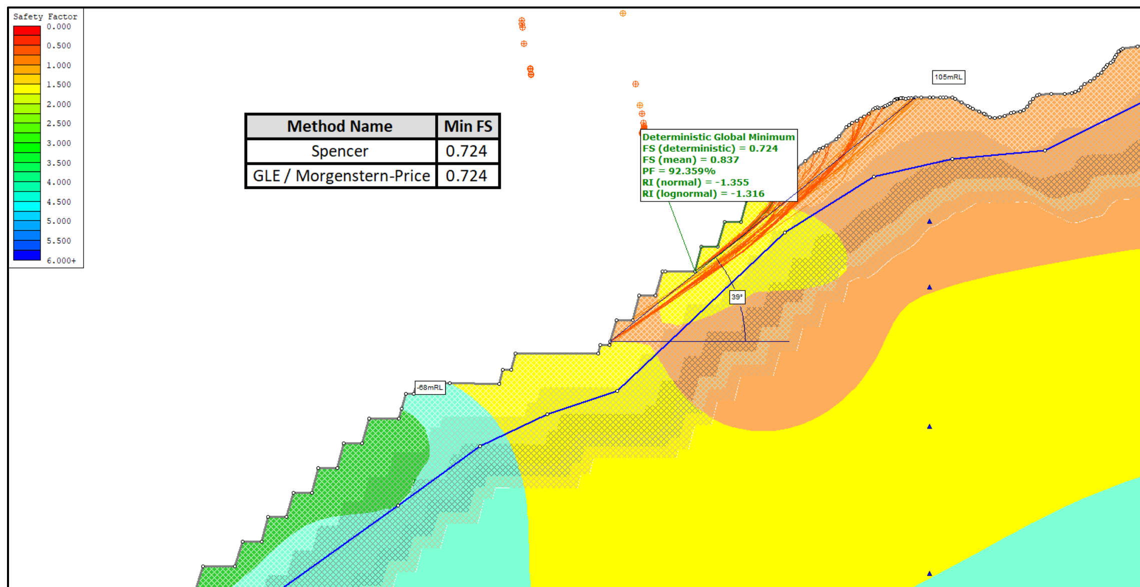
el grado de influencia que pueda tener la voladura o las excavaciones regulares en la pata del talud.

MODELO SLIDE EN 2D

A continuación se presentan tres de los escenarios modelados en los que se muestra que la estabilidad global está determinada por discontinuidades.







- Las superficies de rotura con factor de seguridad menor a 1 se relacionan con ángulos entre rampa tan bajos como 39 grados.

- Los valores de resistencia cortante de las discontinuidades necesitan ser validados con ensayos de laboratorio, para incrementar la confiabilidad en el análisis realizado.

Cobre Panamá

FIRST QUANTUM
MINERALS LTD.

INESTABILIDAD EN DESARROLLO – DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA DE MINA

PARA: Randy Van Order

DE: Graham Bell FECHA: 5 de abril de 2022

CC: Alan Delaney, John Dean, N'faly Kante, Wynand Bender, departamento de geotecnia

TEMA: Identificación de una potencial caída de talud – Pared suroeste, tajo Botija

---

RESUMEN EJECUTIVO

Se observó un incremento en la tasa de deformación en la pared suroeste del tajo Botija luego de la voladura del buffer bo1015_427 el 22 de marzo de 2022. El departamento de geotecnia mantenía constante vigilancia sobre el movimiento detectado. El 26 de marzo se notó una aceleración en el movimiento alrededor del mediodía, que se estabilizó hacia la tarde de ese mismo día. En la mañana del 27 de marzo, este sector de la pared mostró un aceleramiento significativo, llegando a acumular hasta 100 mm de desplazamiento. En este punto, Geotecnia decide elevar el nivel de riesgo de esta zona de amarillo a rojo (operación solo de día). En este documento se detalla el desarrollo del área en cuestión, análisis de los datos disponibles para comprender el mecanismo impulsor, y con esto en mano, proponer soluciones factibles para permitir la continuación del minado seguro.

HISTORIAL DE DESPLAZAMIENTO

La historia de esta zona empieza con el desarrollo de la rampa TA2. Durante el periodo de excavación se notó una zona de terreno suave, y a medida que progresaba el minado del primer talud debajo de la rampa, las condiciones parecían señalar la existencia de una estructura mayor que intersectaba la pared. Esta estructura había permitido la meteorización profunda en esta área localizada. Debido a que esta estructura no se identificó en los sondajes existentes, el diseño de la rampa se hizo asumiendo condiciones de roca fresca, y la meteorización profunda que se intersectó no podía aguantar un ángulo de diseño vertical como es el asignado al macizo competente. Un número de derrumbes había ocurrido hasta aquel punto, y el equipo de geotecnia decidió que todo el material meteorizado se debía de remover y reemplazar con un relleno de roca. Este plan se llevó a cabo, y los correctivos iniciales parecieron funcionar.

Al momento de los trabajos correctivos, no había prismas de monitoreo, y no se había puesto en marcha el radar. Los prismas se instalaron tiempo después para monitorear el comportamiento de esta zona, de modo que lo único que había para monitorear era la estación robótica Leica con su software Geomos.

Los datos iniciales mostraron que aún persistía una inestabilidad al oeste de la zona excavada. Esta inestabilidad continuó desarrollándose hasta el 6 de septiembre de 2020, cuando el área finalmente colapsó. El derrumbe se puede ver en la figura 1.

Se realizó un análisis reconstructivo de la falla de talud en conjunto con la firma canadiense Piteau Associates. Los resultados de este análisis sugirieron una reconfiguración de la pared suroeste, incrementando la berma en el nivel 45 RL y el nivel 15 RL en 15 metros como se ilustra en la figura 2. El ajuste de la banqueta 45 RL sí se hizo, sin embargo, se perdió una porción significativa de la misma durante las voladuras tipo buffer del nivel 45 al nivel 30.



Figura 1: Ubicación del derrumbe del 6 de septiembre de 2020 con relación a la excavación y rellenos previos en la rampa Trolley Assist 2.

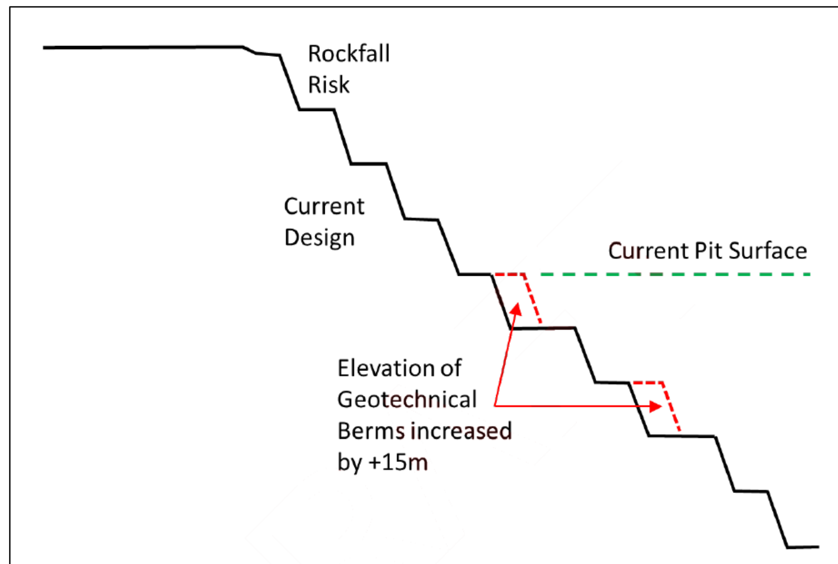


Figura 2: Propuesta de reconfiguración de la pared suroeste recomendada por la firma geotécnica Piteau Associates.

Luego del ajuste en el diseño de la pared suroeste, se diseñó una red de prismas para el tajo Botija. Esta red de prismas se ha ido desarrollando desde el cambio en el diseño, y el georadar IBIS ArcSAR también se puso en marcha y se mantiene operativo. Fue la combinación de estos sistemas lo que permitió identificar la falla de talud en desarrollo al día de hoy. Los datos resultantes se utilizaron para desarrollar una hipótesis de la dirección y posible mecanismo de falla.

MONITOREO DE TALUD

La pared suroeste de Botija está monitoreada con una combinación de prismas, estación robótica, y un IBIS ArcSAR. El desplazamiento en la zona de preocupación actual se registró en el radar luego de la voladura del buffer bo1015_427, el 22 de marzo de 2022, casi inmediatamente después (el radar tiene un intervalo de escaneo de 2 minutos). Al principio, el movimiento progresó lentamente, pero aceleró en la noche del 26 de marzo. La gráfica del desplazamiento se muestra en la figura 3. Esta aceleración en el movimiento en tan corto tiempo fue el causal para cambiar el nivel de riesgo a rojo (minado diurno solamente).

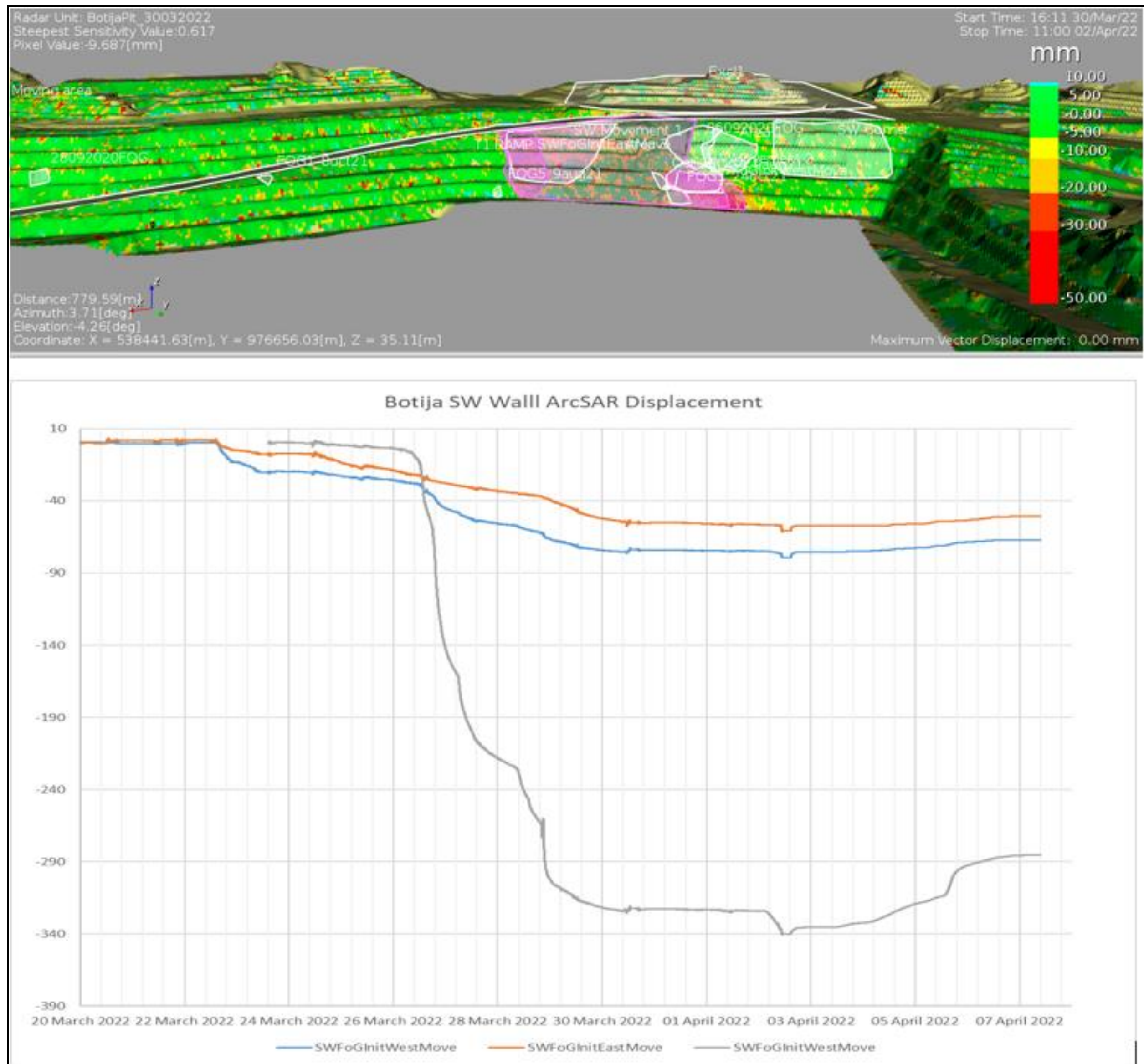


Figure 3: Desplazamiento medido por el radar IBIS ArcSAR, donde se ve claramente el movimiento cumulativo desencadenado el 22 de marzo, y posterior aceleración entre el 27 y 28 del mismo mes.

La red de prismas en Botija se diseñó con un espaciamiento horizontal de 75 m y 30 m verticales en patrón escalonado. Para facilitar la visualización y el monitoreo, los prismas se agruparon según su ubicación. El área en movimiento que se empezó a delinear en el radar abarcaba dos grupos de prismas, grupo 8 y grupo 9, predominantemente prismas de grupo 9. La figura 4 muestra el vector de desplazamiento en dos dimensiones y la ubicación de cada prisma monitoreado. Revisión de los datos de estos prismas confirmó el movimiento observado en el radar. El vector horizontal del desplazamiento en 2D y la gráfica del desplazamiento vertical se pueden ver en las figuras 5 para los prismas del grupo 9, y figura 6 para los prismas del grupo 8.

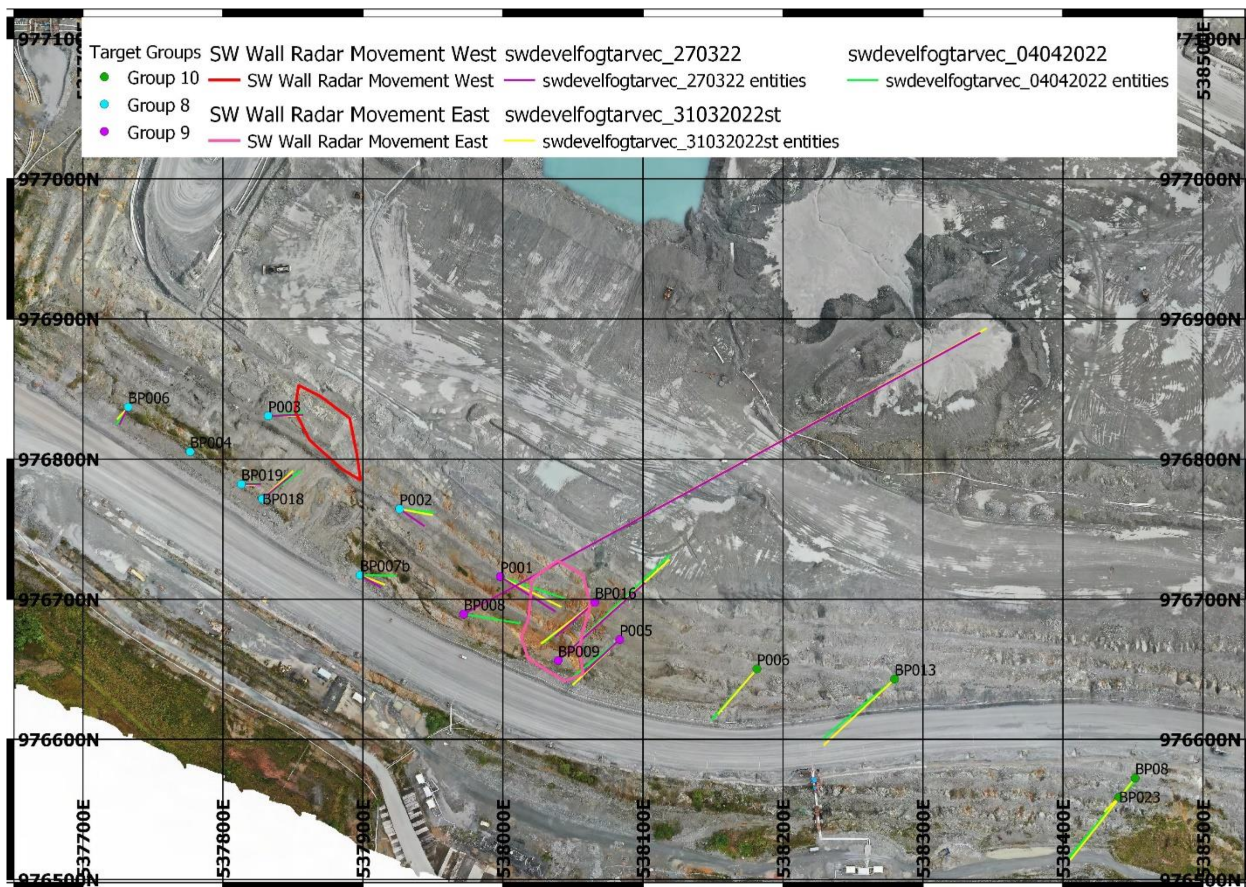


Figura 4: Vista de planta en la que se muestra la ubicación de los grupos de prismas y los vectores individuales de desplazamiento de cada prisma para el periodo del 1 de agosto de 2021 al 27 de marzo de 2022, 1 de agosto de 2021 al 31 de marzo de 2022, y del 1 de agosto de 2021 al 4 de abril de 2022.

El análisis de los datos de Geomos (software que procesa las mediciones diarias de los prismas) demuestra que el repié del suroeste (polígono en línea roja) está fallando mientras empuja los últimos dos taludes (niveles 45 y 15). Analysis of the geomos monitoring data shows that the SW toe (red polyline) is failing by pushing the bottom two benches (45m and15m RL) over. Simultáneamente, este movimiento abre espacio para que el resto del material se deslice hacia este espacio disponible al rotar en la parte oeste y deslizarse en el plano de intersección que hacen las juntas J2 y J1, como se muestra en las figuras 7 y 8.



Figura 5: Gráficas de desplazamiento para los prismas del grupo 9, en las cuales se muestra la fuerte aceleración en el prisma BP009, y en menor proporción en los prismas BP008 and P001

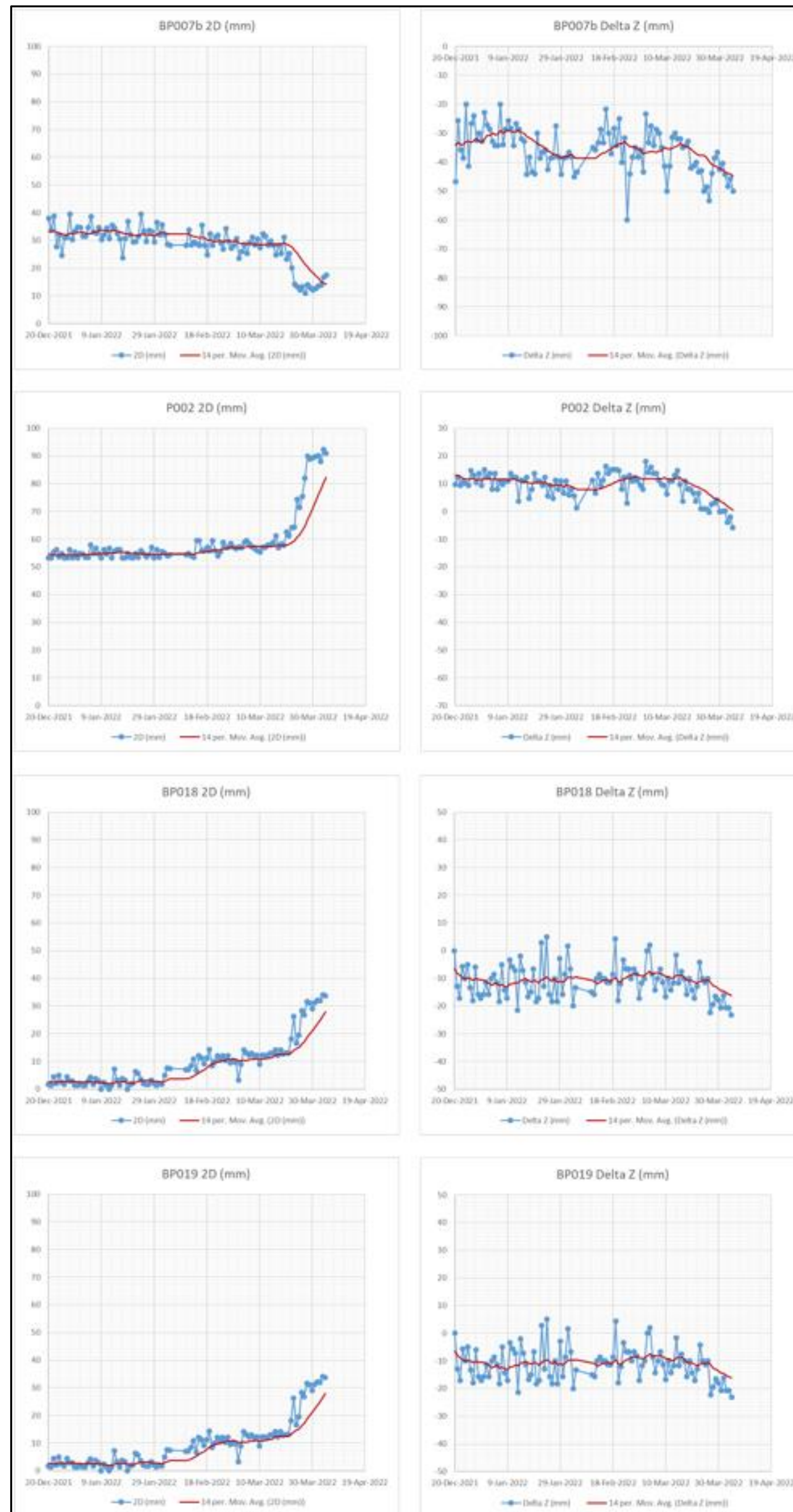


Figura 6: Gráficas de desplazamiento para los prismas del grupo 8, donde se ve aceleración en los prismas P002, BP019 and BP019.

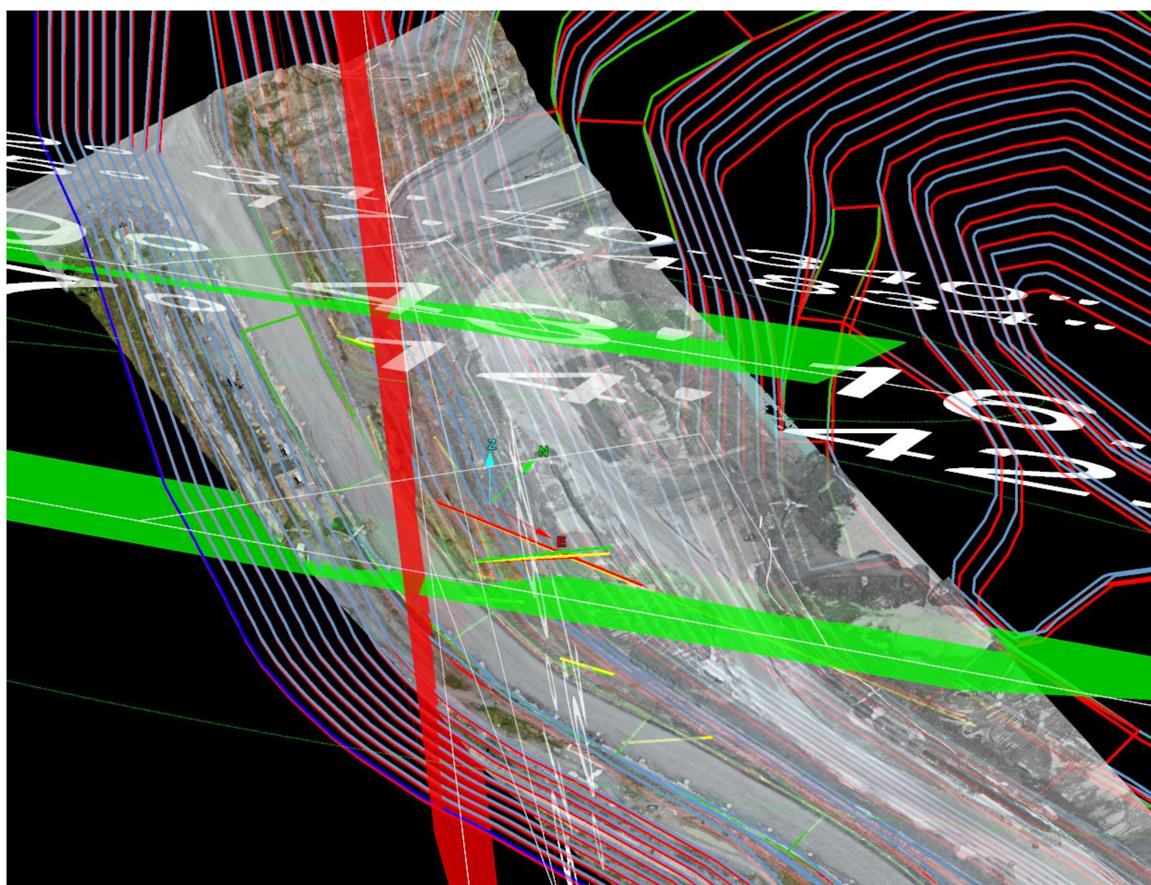


Figura 7: Vectores de prismas en movimiento en 3 dimensiones, junto a los planos J1 (en rojo) y J2 (planos en verde).

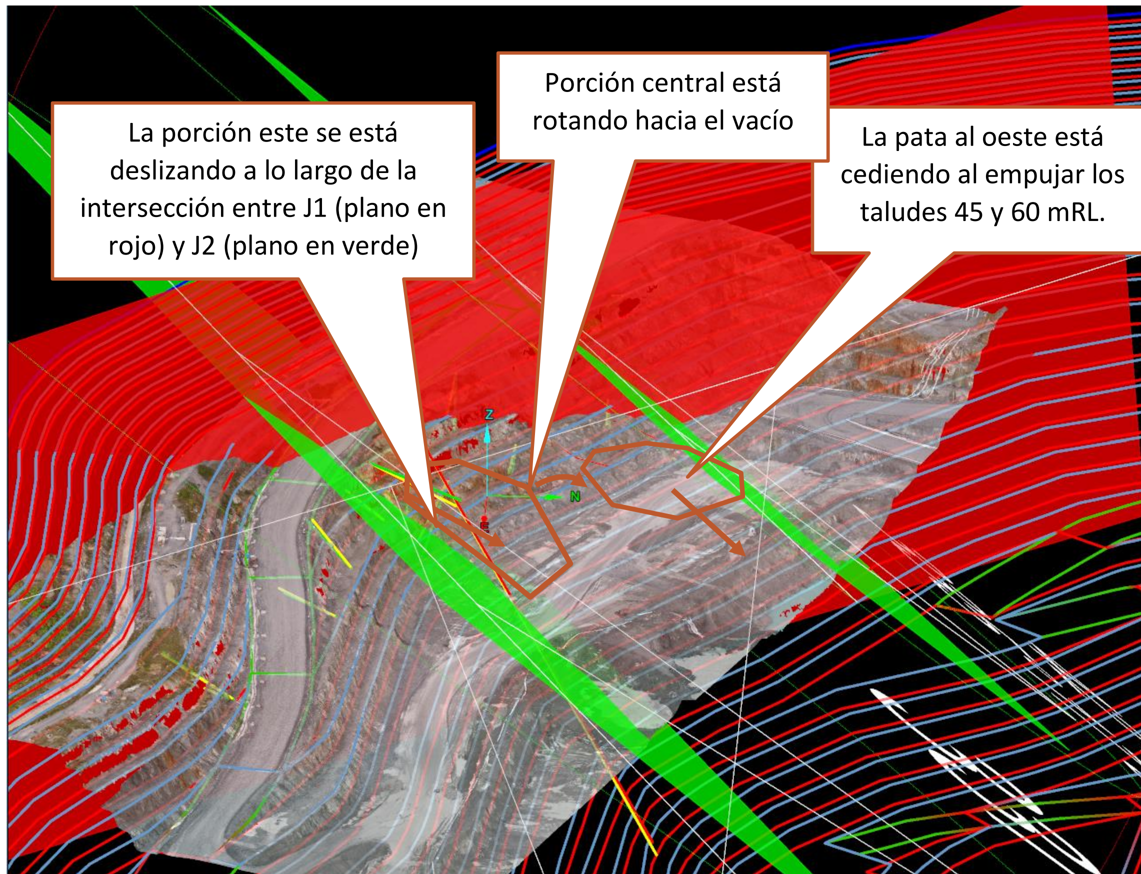


Figura 8: Mecanismo de falla estimado.

ACCIONES CORRECTIVAS

Se sugiere que la berma geotécnica de 21 m de ancho planificada al nivel 0 sea traída al nivel 15, y que se añada una berma adicional del mismo ancho al nivel -45. Adicional a estas medidas, es necesario seguir mapeando con énfasis en las estructuras continuas (que abarquen más de dos banquetas en persistencia).

El agua que se genera de los drenajes horizontales necesita capturarse en tuberías y ser dirigida fuera de la pata de la zona inestable. En la actualidad, el agua se descarga en la pata.

Se necesita hacer modelos geotécnicos en 2D de la pared suroeste. La estabilidad global del diseño del pit final necesita ser revisada. El plan actual de cinco años hace que el extremo oeste del plano J1 intersecte el corte del nivel 30. No obstante, este corte será minado al llegar a la pared final, lo que potencialmente podría reactivar la inestabilidad.

La estabilidad a largo plazo de esta pared va a requerir un modelo de estabilidad en 3D y a un consultor externo para realizar el análisis a nombre de FQM.